盆栽試驗技術

李　子　純

一、前　言

盆栽試驗由於目的不同，其所用培養基也不同，而分爲土耕、水耕、砂耕及礫耕等。其中以土耕及水耕較爲普遍。本篇將簡單介紹土耕及水耕的試驗方法。

二、土耕盆栽試驗

㈠試驗用盆：

過去，盆栽試驗用盆多屬上釉或未上釉的瓦盆，大小種類很多，排水孔或有或無（植水稻用），排水孔位置有在盆底，也有在側面者，隨試驗所需而定。此種瓦盆缺點很多，例如搬運不便，易碎。其未上釉者含雜質甚多，又可能吸收鹽分，上釉者也多含有硼、鋅等微量元素。

其後的塑膠盆雖較瓦盆爲優，但經日晒後，很易碎裂。近年來的壓克力製品則較理想，輕便、不易碎裂；現本省製品有 30 × 27 公分及 20 × 17 公分等多種規格，前者與 Wagner 盆容積相若，約可盛土 12 － 15 公斤，後者可盛土 3 公斤左右。

㈡試驗設計：

通常盆栽試驗多採逢機區集設計，重複三次，同一重複者放置一處。爲使試驗結果便於統計分析，每一處理應設二個以上等級。

㈢盆栽土壤的選擇：

盆栽土壤的選擇因試驗目的不同而異：

1. 有關土壤肥力測定校正試驗：

無論土壤速測或植物營養診斷必須經過多數田間試驗加以證實。但田間試驗所需人力、財力甚大，往往先進行盆栽試驗，獲得初步結果後，再進行田間試驗。因此選用土壤尤須愼重。此類試驗所用土壤多在 20 種以上，而其肥力等級如磷或鉀或兩者須具有高、中、低及極低之區別且不偏向任何一方。普通在選取土壤時，可先參閱該氣候區域之下，土壤分類圖及土壤肥力分佈圖，了解其大略分佈情形，或參考過去田間試驗成果，在適當地點，先選取代表性之混合小樣本，選取數目可倍于所需要者，但每一樣本，必須註明詳實採樣地點，及採樣日期，攜回予以風乾調製後，立即化驗，依其肥力等級，選取所需的土壤，再至原地採取盆栽試驗所需的多量樣本，此時應注意在第一次與第二次採樣期間，土面有無變動，或農民有無施用肥料。若是，則應予廢棄，而以候選之土壤遞補之。每一樣本所採數量依試驗設計，用盆大小以及土壤中含水量情形而定。

2. 特殊問題土壤研究：

如爲了解或解決某一特殊土壤的問題，則試驗用土壤必須取自該問題發生的地點，無選擇餘地。

3.有關作物產量問題試驗：

普通土壤均可進行。但當所植作物爲旱作時，應選中質地者，如壤土、細砂壤土、或坋質壤土較適宜。因其導水力强，易保持作物生長所需的適當水分，且不易粘結。如用細或粗質地土壤則水分管理較困難。

4.肥料效用檢定試驗：

在進行此類試驗時，必須選擇對所觀察要素有顯著效應的土壤。如能在選定試驗地點前，先以盆栽試驗比較作物在不同土壤上的反應，較易獲致有用的結果。例如一簡單的盆栽試驗，觀察要素用量設數等級，其他要素則充分供給，即可獲得理想資料。圖1爲類此試驗的結果（曲線A）及得自另一產量效果不理想土壤的假想結果（曲線B）。圖中曲線A爲溫室環境下產量對磷肥的效應，由此曲線可知當肥料施用量在60 － 240 mg p／pot範圍時，磷肥效果最大。曲線B乃不理想的反應，試驗時應避免選用此種土壤，除非目的爲尋求其不正常的原因。

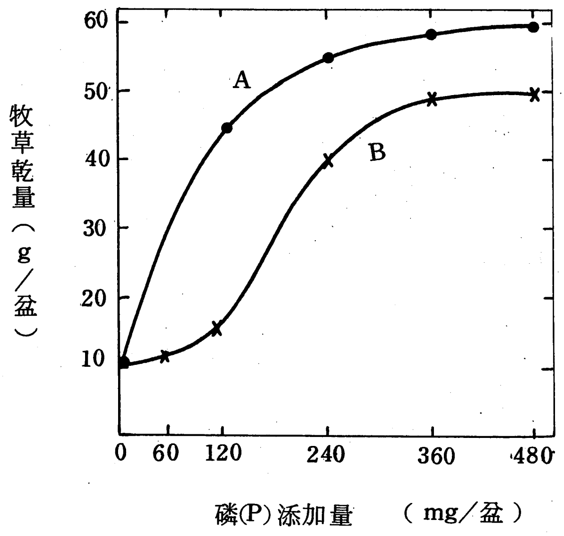

圖1　磷肥效果比較試驗中理想的（A）及不理想的（B）反應曲線

有時某些土壤對某一要素之施用在田間有效，在溫室却無效，其可能之解釋或爲通常溫室的溫度及濕度均較高，有機物較易分解，其所釋出之營養素較田間爲多之故。

如欲某一要素之施用在土壤中有效，使用之土壤最好在數年中已不施用該要素，如此必較使用未經耕作或一向施肥之土壤更好。

(四)土壤調製：

盆栽試驗用土多採用耕犂層土壤，即表土0至15公分者。土壤採回後，先行風乾，其乾燥程度以水分含量爲田間容水量的1／4至1／3爲最理想，因土壤在這種含水量時處理不致有塵埃，且混合時也不會粘着於攪拌器上。如土壤乾燥至風乾程度，則除上述缺點外，裝盆時更易過於密實，灌水後又易成糊狀。

土壤經乾燥至適當程度後，予以打碎，至約能通過0.5 － 1.0 cm網篩爲度，再予混

合均勻，即可貯存至適當處所備用。如貯存時土壤有足夠水分使土壤內夾雜的雜草種子在貯存期間發芽最好，如此即可減少作物生長時的雜草問題。

㈤土壤酸礆度的調整：

水稻多植於浸水土壤，而土壤經浸水後，其 pH 低者，多可因土壤還原而升高；pH 高者也可因還原而降低，故在盆栽水稻時，除非係石灰施用試驗，否則很少調整其土壤之 pH 值。但對旱作則否。一般旱作多喜生長於中性土壤，以 pH 在 6 － 7.5 爲最適宜，此時土壤 pH 如過高或過低需予調整。其方法如下：

1. 土壤 pH 的提高：

爲提高土壤 pH 至 6 － 6.5，盆栽試驗中常用 4：1 的試藥級 $CaCO_3$ 及 $MgCO_3$ 混合物加入土壤。如所進行的試驗並非微量元素研究，也可以磨細的白雲石粉代替。

(1)石灰需要量的測定：　爲確定某一土壤提高至一定 pH 值所需石灰之量，應在試驗前先以燒杯或試盆數個分別盛入等量土壤，每盆中加入不同量的石灰，混勻後加水至約田間容水量程度，二星期後測定其 pH 值。圖 2 即爲 Mountview silt loam 土壤於加入不同量的石灰後兩星期 pH 之測值，由此曲線即可推算出提高該土壤至某一 pH 值所需之石灰量。

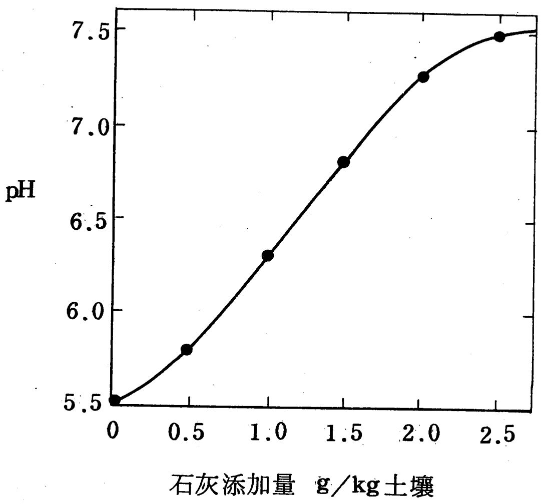

圖 2　Mountview silt loam soil 的石灰需要量曲線

(2)石灰施入時間：　當石灰用量不多（在 2 g/kg 土壤以下）時，石灰與土壤間的作用不致影響肥料效果，二者可在作物種植前同時加入。如所用石灰係試藥級者，其與土壤間的作用約可在七天內完成。

但當石灰用量多時，應將石灰先加入土壤使其先達到所需的 pH。此時爲使石灰與土壤均勻混合，可分別每次以 50 公斤土壤與石灰混合，混勻後，以 10 － 15 公分深度將土壤攤開，放置於溫室地面或其他適當處所，再以去離子水潤濕至其含水量在 5 － 25 %之間。放乾後，再予混合，加水潤濕，如此在 10 至 15 天的反應期間（普通石灰需 30 － 60 天）至少加水潤濕兩次，待作用完全後，即可裝盆使用。

2.土壤的酸化：

當土壤 pH 過高，需要酸化時，也應先以不同量試藥級硫磺粉與土壤混合培育（方法與前述石灰需要量之測定相同），由此所得結果推算土壤酸化至一定 pH 所需施用硫磺的量。如所用硫磺係細粉末，作用期間約為 4 至 6 星期，但一般市售硫磺因其粒子過粗，所需作用期間過長，盆栽試驗不宜使用。

(六)土壤裝盆：

土壤混合均勻，其含水量經測定後，即可裝盆。

如係旱作，其盆底之排水孔應先置以濾紙或玻璃棉防土壤漏失（濾紙腐爛後濕潤的土壤也不致再自排水孔流失）。當然如盆內係套用塑膠袋者，則無此需要。如所用之盆係 Wagner 氏盆之容積，也可於盆底先裝以小石子二公斤，其上再覆河沙兩公斤，再裝上土壤八公斤。如是使盆內之排水及通氣性較好，有利作物生長。

如係水稻且不需排水者，可以橡皮塞堵塞排水孔。若需排水，則可自橡皮塞鑽孔裝玻璃管，再由管口控制排水量，但為避免土壤堵塞排水孔，玻璃管在盆內之一端開口處應先包以玻璃棉，其上再蓋二公斤細砂，然後再裝土。

土壤裝盆後無論即將種植之作物為旱作或水稻，切記必須在施肥後，未灌水前將盆內土壤儘量壓實，務使每盆土壤密實度相同，以確保日後作物生長的差異並非由於土壤裝盆的緊密度不同所導致。

(七)施肥原則：

在比較不同肥料中某要素的效用時，必須將其他生長限制因素儘量去除。例如，在比較多種肥料中磷的效用時，作物生長過程中即不能讓其受氮或其他因素限制。即應充分供給其他營養素（供給量以低於毒害程度為準）。又對探討中的要素施用量必需設以多種等級，以便於尋求如圖 1 中曲線上肥料對產量效果最大的施肥範圍。

例如圖 1 中磷肥效果的比較應在曲線 A 中每盆施 P 量在 50 –200 mg 範圍內，如此始能獲得單位 P 施用量的最大效果，而不同磷肥效果的最大差別也在此範圍內。反之，施用量在 250 – 450 mg 範圍內則不同肥料間 P 肥效果很接近，且在此範圍內所作的比較，乃基於浪費用量範圍，其所得結果也不若獲自缺 P 範圍時有效。

在此原則下進行盆栽試驗時，除非確知某土壤中其他要素均不缺乏，否則這些要素在作物種植前或生長期必需予以充分供給。例如某土壤中所含 N 及 P 均低，且在種植玉米——尤其當 N 及 P 肥施用量高時——更常有缺 S 及 Zn 的現象，又鉀也可能缺乏，尤其當連續兩作，或數作在同一盆土壤中進行時。在此情況下，其施肥量如以 3 公斤土壤種植玉米 7 至 8 週計，應施 N 1 克以上，P 200 mg，但如此多量的氮肥如在播種時一次施入，可能對發芽有害，且在緩衝力弱的土壤，更可能嚴重抑低其 pH 值，故應分次施用。鉀肥施用量在第一作時用 400 mg K，如繼續再種第二作，應再增加 200 mg，硫則用 160 mg，其他微量要素可依如下重量加入： Mg – 14， Fe –14， Mn – 11， Zn – 12，Cu – 4， B – 1.4 mg／pot（ 3 kg 土壤）。

(八)施肥量及方法：

1.施肥量：

通常盆栽試驗因植物平均所佔空間較田間為大，生長必較旺盛，而所用灌溉水多為離

子交換水或自來水，所含養分必較田間所用之灌溉水爲低，再加上前述之施肥原則，不能讓作物對探討外之要素有缺乏之虞，所以通常盆栽試驗之施肥量常較田間爲高。

例如以 Wagner 大小試盆用土十公斤種植水稻時，其所施三要素肥料通常爲 N − P_2O_5 K_2O 各 1 克。

2.施肥法：

施肥時如將每盆所需肥料分別秤取裝於容器，再個別與土壤混合也可；或將定量肥料先溶於水，配製成一定濃度的溶液，再將每盆應施的量以吸管加入，如此加入後如不再與土壤混合，則可摸擬田間條施或點施法。如需與土壤混合，則可待肥料溶液乾後再行拌勻。表 1爲常用肥料營養要素的含量。

(九)作物播種：

1.直播法：　如盆栽作物爲旱作，作物種子多直接播於土壤中。但播種時，必須注意所播種子的密度及深度每盆均須一致。

在播種細小的種子時，常將盆內土壤先取出一定量，在一平面上撒下定量的種子，再將取出的土壤倒回。種子覆土的深度有淺至 1 − 2 mm 者如豆類種子，或深至 2.5cm 者如玉蜀黍種子等。通常播種時總播下較多的種子，待發芽後再行疏拔。

2.移植法：　一般水稻盆栽時多用揷秧法。而旱作如蕃茄，苜蓿等也常使其在砂床上發芽後再行移植，如此可選擇較爲整齊的苗。欲得較好的苗，可在苗床上偶而灌以培養液。幼苗所吸收的養分很少，不足以影響以後對肥料的反應。

(十)灌溉方法：

盆栽水稻時，灌水只要能保持土壤在浸水狀態即可，無需特別方法。但在種植旱作時，尤其當試盆數量多時，要使每一試盆經常保持適當且相同的含水量，至今仍無完全理想的方法，茲將常用方法兩種分述如下：

1.稱量法：　爲較常用的方法。爲操作時方便，如所用試盆非塑膠製品，每盆重量不相同，常先以加砂方法使同一試驗中用盆的重量一致，各盆在加入同量土壤以後，即可開始灌水，水自土壤表面分數次加入，至其水分張力約爲大氣壓力的 1／3 或田間容水量的 2／3 爲度。如實驗室內無水分張力測定裝置，可以下述方法代替：在試盆內先套以塑膠袋，裝入定量土壤，每盆中加入不同量的水，靜置過夜，次日取出塑膠袋，觀察土壤中含水量，以恰能潤濕全部土壤的加水量爲最適當。如此即可測定出應加水分的重量。

爲避免開始灌水時，土壤表面被冲刷。可在試盆播種後開始灌水時，在土面上覆以濾紙（濾紙可於一至三日後取除）。又在初播種前三星期應儘量減少灌水量，以防止土壤過濕而滋生微生物。

下例爲一使土壤含水量達 24 %的需水量計算法

試盆（加砂後）重	280克
乾土重	3,000克
稱量時土壤含水量	150克
需加水重	570克
共　重	4,000克

表 1　常用試藥級化合物中植物營養素含量

Name	Chemical formula	Content of nutrient in reagent-grade compound,%a
Ammonium nitrate	NH_4NO_3	N-35.0
Ammonium sulfate	$(NH_4)_2SO_4$	N-21.2,S-24.2
Urea	$CO(NH_2)_2$	N-46.6
Calcium nitrate	$Ca(NO_3)_2\cdot 4H_2O$	N-11.9,Ca-17.0
Magnesium nitrate	$Mg(NO_3)_2\cdot 6H_2O$	N-10.9,Mg-9.5
Potassium nitrate	KNO_3	N-13.8,K-38.7
Sodium nitrate	$NaNO_3$	N-16.5
Monoammonium phosphate	$NH_4H_2PO_4$	N-12.2,P-27.0
Diammonium phosphate	$(NH_4)_2HPO_4$	N-21.2,P-23.5
Monocalcium phosphate	$Ca(H_2PO_4)_2\cdot H_2O$	P-24.6,Ca-15.9
Dicalcium phosphate	$CaHPO_4$	P-22.8,Ca-29.5
Monopotassium phosphate	KH_2PO_4	P-22.8,K-28.7
Monosodium phosphate	$NaH_2PO_4\cdot H_2O$	P-22.5
Potassium chloride	KCl	K-52.4
Potassium sulfate	K_2SO_4	K-44.9,S-18.4
Sodium sulfate	Na_2SO_4	S-22.6
Calcium sulfate(gypsum)	$CaSO_4\cdot 2H_2O$	Ca-23.3,S-18.6
Calcium carbonate	$CaCO_3$	Ca-40.0
Magnesium carbonate	$MgCO_3$	Mg-28.8
Magnesium sulfate(Epsom salts)	$MgSO_4\cdot 7H_2O$	Mg-9.9,S-13.0
Ferrous sulfate	$FeSO_4\cdot 7H_2O$	Fe-20.1,S-11.5
Manganese sulfate	$MnSO_4\cdot H_2O$	Mn-32.5,S-19.0
Zinc sulfate	$ZnSO_4\cdot 7H_2O$	Zn-22.7,S-11.2
Zinc oxide	ZnO	Zn-80.3
Copper sulfate	$CuSO_4\cdot 5H_2O$	Cu-25.5,S-12.8
Sodium borate(borax)	$Na_2B_4O_7\cdot 10H_2O$	B-11.3
Boric acid	H_3BO_3	B-17.5
Sodium molybdate	Na_2MoO_4	Mo-46.6

[a]Conversion factors : P to P_2O_5 = 2.287 ; K to K_2O - 1.205

試驗進行時，例行的工作即加水使每盆重量達到4000克，通常每星期約需加水兩次。如遇土壤有過乾，或枝葉有乾枯現象，則次數需增加。當然在作物成長後，必需再加上作物本身的重量。以如上方法灌漑在無排水的試盆中尚無通氣不良問題發生。

切記灌水過多，作物會因土壤通氣不良而枯萎，而灌水系統不良，較研究中的營養素，更易限制作物生長。

2.上吸法： 將底部有排水孔的試盆置於另一容器中，灌漑水盛於該容器內，試盆內所需的水全部或部分如此供給，但對某些土壤，如灌漑水完全以此法供給，結果不理想，因水分無法上升至土壤表面。

如試盆容積小，而所用土壤又係導水力較强者，可將試盆（底部有孔者）置於砂床內，灌水於砂中，作物所需之水分即可自砂中供給，此法的缺點爲土壤中的鹽分易隨水分移於土壤表面，且各盆中的鹽分也可因滲至砂床而汚染其他試盆。

(十)病虫害防治：

溫室常見的虫害有蚜虫、紅蜘蛛、及其他食葉昆虫的幼虫等。如發現有虫害，應立即噴以廣效的殺虫劑如Sevin，Malathion及Kelthane等。有機P的藥劑如Malathion雖含P，但其含量甚低，不致干擾作物對P的反應。但應避免使用含As的藥劑，因其所含的As可能干擾植物分析中P的測定。

(土)溫室與田間試驗的相關性：

進行溫室試驗的優點之一爲影響試驗結果的因素在溫室較田間易於控制，且費用較少。其缺點爲盆栽通常所用土壤有限，如所植作物過大，無法待其成熟即須收獲。例如玉米常在50－100公分高時，豆類在始花期。所以，其收獲量只能與田間試驗的初期反應比較，而在田間這種初期生長差別往往至成熟時即已逐漸變小，而與產量不一定有很好的相關性。

另一促使溫室盆栽試驗肥料效果敏銳的因素爲盆試所用土壤通常均選擇缺乏探討中的要素者，此時作物對該要素的吸收量來自肥料中者必較其生長於富含此要素的土壤中時爲多。在比較肥料效果時，這種方法也較爲正確。

換言之，如果一試驗的處理在溫室盆栽情況下，已無顯著差別，即無需再在田間進行相同的試驗。反之，如盆栽結果顯示處理間差異顯著，則可考慮繼續進行田間試驗。

上述情形也有例外者，例如某些試驗－如鹽分濃度與水分的關係－在田間與溫室所得結果可能相差很遠，無法比較。

通常，由進行得好的溫室及試驗室結果可獲知値得繼續再在田間進行試驗的因子。盆栽試驗也爲將實驗室所得觀察結果實際應用於植物反應，藉此建立基本的土壤－肥料－植物間關係的有效方法。由於田間情況下進行的試驗準確度低，此種在實驗室及溫室獲得的關係在田間往往無法得到。

爲使溫室及田間試驗結果趨於一致，Cook及Millar（1946）謂提高溫室施肥量，使用適當大小試盆及採用相同土壤等爲其重要因素。

三 水耕盆栽試驗

水耕栽培爲研究植物營養的重要方法，吾人對各種礦物元素在植物體內所擔任的角色幾均來自營養液栽培試驗，這種方法也稱爲水耕法（hydroponics）或無土栽培（soilless

culture)。

(一)試驗用盆及遮光：

所有盆栽試驗用盆均可作爲水耕盆栽之用，只要盆底無排水孔即可。但如進行微量要素試驗，則最好採用壓克力製品。

爲防止盆栽時營養液內生長綠藻及隔熱，如所用試盆係玻璃或可透光的塑膠及壓克力製品時，必需予以遮光。其方法可以兩層或多層的棕色紙包裹；或塗以黑色油漆；也可用黑、白紙各一層，內層用黑色紙包裹可遮光，外覆以白色紙可反射光與熱；也可用現在的鋁鉑(Aluminum foil)包裹盆外，也是很理想的隔熱及遮光方法。

又爲遮光及防止塵埃污染，試盆口必需加蓋，此蓋同時也是水耕作物主要支持物。蓋有盤形網狀者(不銹鋼或鋁線製成)，也有木或塑膠製成上鑽有孔供作物生長者。爲使孔的大小有伸縮性便於作物生長，可將孔內塞以海綿等富彈性物，也可藉此固定作物。(圖3)

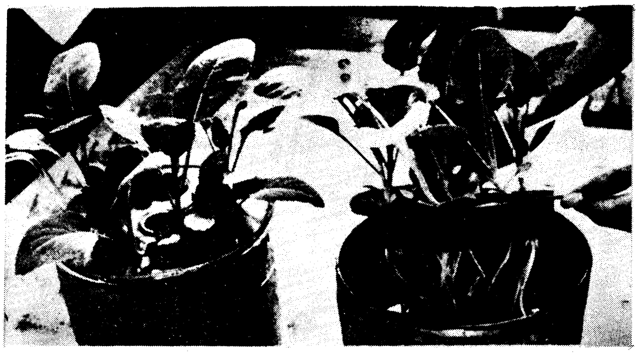

圖3　水耕栽培的花椰菜

(二)水耕液用水：

配製營養液的用水可用雨水、自來水、蒸餾水及離子交換水等，其選擇依試驗性質不同而定。如進行的試驗係有關微量要素者，則應選用離子交換水；如係有關三要素營養問題者，則用自來水即可。通常水稻能在以自來水配製僅含大量要素(N、P、K、Ca、Mg、S)的營養液中生長良好，除鐵及錳外，不致缺乏其他微量要素。

(三)營養液的配製：

水耕栽培所需的溶液，即一般所謂的"營養液"(nutrient solution)，爲將作物生長所需的鹽類以某種比例溶於水中而成。其配製的原則爲以簡單而可靠的配方供給作物以適當的濃度及比例的必要元素，營養液的配方很多，但只要其中含有作物生長必需的各種元素，而各元素的濃度與作物適宜的濃度相差不遠，作物幾均可生長良好。

營養液中各要素濃度單位常用者有：g/l，ppm，me/l，molar，mg，及 μg 等。茲將兩種較常用的配方列舉如下：

1. Arnon 或 Hoagland 溶液配方：

表2 Arnon 氏水耕液配方

塩 類 (Salts)	分子量 (M.W.)	g./l.	me/l
KNO_3	101	0.656	6.49 K^+ 6.49 NO_3^-
$Ca(NO_3)_2$	164	0.656	8.00 Ca^{2+} 8.00 NO^-
$NH_4H_2PO_4$	115	0.115	1.00 NH_4^+ 3.00 PO_4^{3-}
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	246.4	0.490	4.00 Mg^{2+}
$FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.5 % Tartaric acid 0.4 %		0.6 ml./l.	3xweekly (每週需更換三次)
H_3BO_3		2.86 mg	
$MnCl_2 \cdot 4H_2O$		1.81 mg	
$CuSO_4 \cdot 5H_2O$		0.08 mg	
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$		0.22 mg	
H_2MoO_4 ($MoO_3 + H_2O$)		0.09 mg	

各種配方中所含各營養素濃度相差很大，但其主要大量要素的正常濃度範圍多為 2 − 8 me/l K^+ ，6 − 10 me/l Ca^{2+} ，1 — 4 me/l Mg^{2+} ，5 − 15 me/l NO_3^- ，0 − 3 me/l NH_4^+，2 − 4 me/l PO_4^{3-}，1 − 4 me/l SO_4^{2-}

又營養液的 pH 值最好在 5 − 6 之間。pH 過高易導致溶液內鐵的沉澱而無法為作物利用，其他要素如 Ca 及 P ，有時 Mn 在 pH 高時也會成為無效性。

營養液內 pH 的調整可用 IN 的 H_2SO_4 及 HCl 、或 NaOH 溶液。

2. 稻作營養液配方：作物為水稻時，農試所常用的營養液配方如表 3 ，但為省時，此種營養液均先配製成較濃的母液，於使用時再行稀釋，大量要素及 Fe 稀釋 1,000 倍，微量要素稀釋10,000 倍。

3. 特殊營養液配方：如所進行的試驗為缺乏某種營養素，則在配製營養液時不加該要素即可。其配製法如表 4 。

(四)營養液的通氣：

1. 通氣的重要性：

水耕栽培時植物根係生長在與自然環境完全不同的環境中。早在 1971年 Clements就發現植物根無法在止水中生長，其後的試驗也證明通氣為保持根有效活動的要件。如果沒有通氣設備，培養液中的氧氣壓力就會低於很多植物正常生長所需的量——雖然這種需要量各種作物相差很多。但過量通氣也會使作物受傷，試驗證明當氧氣含量超過 20 %時作物生長即受阻。

水耕栽培時通常需要通氣，尤其當用盆深，或表面積與全部體積的比例小時；或用盆的蓋很緊密時。反之，如果所用試盆甚小（在3公升以下），或其表面積較大，又可與空氣自由接觸，或營養液常予更新，則可不必通氣。

水稻本身即生長於浸水環境，較其他作物適應於還原狀態，故水耕作物為水稻時，無需通氣。

表3　稻作水耕液配方

要素	鹽 （salts）	分子量（M.W.）	g／l	me／l	稀釋倍數
(N)	NH_4NO_3	80.05	120.0	1,500 NH_4^+ 1,500 NO_3^-	1,000
(P)	$NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$	156.01	52.0	1,000 P	1,000
(K)	K_2SO_4	174.27	87.1	1,000 K	1,000
(Ca)	$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	147.03	14.7	200 Ca	1,000
(Mg)	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	246.50	61.6	500 Mg	1,000
(Fe)*					1,000
	EDTA-Fe salt		36.5	179 Fe	
(Mic)					10,000
	$MnSO_4 \cdot 4H_2O$	223.11	22.3	200 Mn^{2+}	
	H_3BO_3	61.84	18.6	900 B^{3+}	
	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	249.69	2.5	20 Cu^{2+}	
	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	287.56	2.9	20 Zn^{2+}	
	$(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$	1235.85	0.35	11.88 Mo^{6+}	

*（Fe）母液：稱取EDTA－Na_2 鹽 33.3 克溶於約 800 ml 水中，加 89 ml 、I N NaOH，再加$FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 24.9 克，待其溶解，放置過夜再稀釋至 1 公升，此液內Fe的濃度應為 5 mg／ml，將其貯於棕色瓶中，置於陰涼處。

2.通氣的方法：

通常均以馬達打入壓縮空氣。為防止空氣中的塵埃或馬達內油的污染，常將此壓縮空氣先導入盛水的瓶中，空氣再自此瓶內由分支管分別以約 3 mm的塑膠管通入水耕盆底。

塑膠管在盆底處折彎使其與盆底平行（如圖 4），再將出口封閉，並於盆底管壁上以針鑽若干小孔，使空氣自孔內逸出。此種小氣泡不致干擾根的生長，但除可使水耕液通氣外，更有攪拌營養液的作用。

普通情形下，通氣可不必連續施行，如每小時通氣 10 分鐘或每天通氣 4－6 次，每次30 分鐘即可。

㈤水耕作物育苗：

表 4　營養液配製法（表內數字爲配製 1 公升營養液所需之 $m\ell$ 數）

	M KNO_3	M $Ca(NO_3)_2$	M $MgSO_4$	M KH_2PO_4	36.5g／1 Fe-EDTA	M KCl	Micro-nutrients*	M $CaCl_2$	M Na_2SO_4	M NaH_2PO_4	M $NaNO_3$	M $MgCl_2$
N lacking	—	—	2	1	1	5	1	5	—	—	—	—
P lacking	5	5	2	—	1	1	1	—	—	—	—	—
K lacking	—	5	2	—	1	—	1	—	—	1	5	—
Ca lacking	5	—	2	1	1	—	1	—	—	—	5	—
Mg lacking	5	5	—	1	1	—	1	—	2	—	—	—
S lacking	5	5	—	1	1	—	1	—	—	—	—	2
Fe lacking	5	5	2	1	—	—	1	—	—	—	—	—
Micronutrients (except Fe) lacking	5	5	2	1	1	—	—	—	—	—	—	—
Complete	5	5	2	1	1	—	1	—	—	—	—	—

* 微量要素溶液配製法

	g/1	ppm
H_3BO_3	2.86	B 0.5
$MnCl_2 \cdot 4H_2O$	1.81	Mn 0.5
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	0.22	Zn 0.05
$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	0.08	Cu 0.02
$H_2MoO_4 \cdot H_2O$ (85 % MoO_3)	0.02	Mo 0.01

如進行的試驗僅爲大量要素試驗，育苗可在礫石中進行；但如爲微量要素試驗，則育苗應在經酸洗過的砂中，較小的種子則可置於濕潤的濾紙中發芽。初發芽的幼苗在未能移植前可先育於育苗槽中，待稍大後再行分別移植於水耕盆內，如圖5

初育成的幼苗必須先育於較稀薄的營養液中（將營養液稀釋，其稀釋倍數自2至5倍，依苗之大小而變動），且幼苗的根只能略與營養液接觸，待稍長成後，始能將根全部置於營養液中。

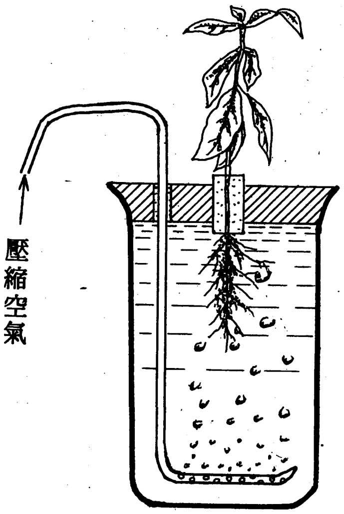

圖 4　壓縮空氣自盆底通入法

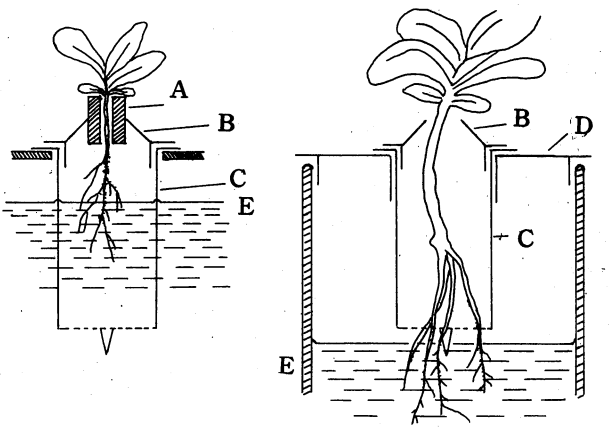

圖 5　育苗法（左爲育苗槽，右爲水耕用盆）

A 支持幼苗的塑膠泡棉。　B 支持植物的錐形蓋。　C 支持植物的圓形筒。

D 水耕試盆蓋。　E 營養液面。

參 考 資 料

1. 東京大學農學部農藝化學教室　1952　實驗農藝化學　上册。
2. Allen, S.E., G.L. Terman, and L.B. Clements. 1976. Greenhouse techniques for soil-plant-fertilizer research. TVA National Fertilizer Development Center, Muscle Shoals, ALABAMA 35660, USA, 57 pages.
3. Chiu, T. F. 1979. Glasshouse experiments for plant nutrition and soil fertility.
4. Cook, R. L., and C. E. Millar. 1946. Some techniques which help to make greenhouse investigation comparable with field plot experiments. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 11:298-304.
5. Currier, H.B., G.R. Williams, 1961. Plant physiology laboratory manual, Department of Botany, U.C. Davis.
6. Hewitt, E.J. 1966. Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition. Rivised 2nd. ed. Commonwealth Bureau of Horticulture and Plantation crops, East Malling. Kent. England. Tech. Comm. No. 22.